

**CINÉTICA DE SECAGEM CONVECTIVA DO MELÃO (*Cucumis Melo L.*)
SUBMETIDO A SOLUÇÃO OSMÓTICA DE SACAROSE E SORBITOL
ASSISTIDA POR BANHO ULTRASSÔNICO**

RESUMO

O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas, com uma média superior a 40 milhões de toneladas nos últimos anos. Disso, cerca de 12 milhões são desperdiçados, principalmente por falhas de armazenamento e transporte, gerando grandes impactos econômicos e ambientais. A secagem é uma operação tradicional de conservação do alimento, que aumenta a sua vida útil através da evaporação de água e consequente diminuição da atividade de água, reduzindo o peso, o volume e os custos do produto. Ela pode ser ao natural, por convecção forçada, por radiação, desidratação osmótica, entre outras. Neste trabalho, foi estudado a desidratação osmótica de melão (*Cucumis melo L.*), como pré-tratamento de secagem, seguida de secagem convectiva forçada. O processo de desidratação foi baseado em arranjo fatorial, com as amostras em soluções de sacarose e sorbitol de 30, 40 e 50 °Brix, e tempos de imersão de 10, 20 e 30 minutos. As variáveis obtidas, perda de água, ganho de sólidos e redução de massa, mostraram que o processo osmótico é, em geral, influenciado principalmente pela concentração da solução, seguido do tempo de imersão das amostras nas soluções. O ganho de sólidos foi maior nas amostras imersas em sorbitol do que sacarose, com ênfase na solução de 50 °Brix imersa por 30 minutos, concluindo que quanto mais concentrada a solução, maior o ganho de sólidos do produto e, conseqüentemente, menor o teor de umidade da fruta. O modelo difusional simplificado com quatro termos para geometria plana apresentou um bom ajuste aos dados experimentais, tendo o maior coeficiente de difusão na solução de 30 °Brix por 30 minutos ($1,2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$) e índice de correlação entre 0,95 e 0,98. O uso do pré-tratamento osmótico mostrou-se eficaz na retirada de água, levando a uma diminuição na taxa de umidade da amostra.

Palavras-chave: Modelo difusional, Pré-Tratamento, Ganhos de Sólidos e Frutas.

1.INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos setores de maior destaque do agronegócio brasileiro, gerando oportunidades para os pequenos negócios, através de uma grande variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas. O Brasil é o terceiro produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia, o que mostra a relevância do setor para a economia brasileira (AGRONEGÓCIO, 2015, LIMA, 2022).

O Brasil exporta frutas para cerca de 100 países do mundo. O número total de nações que importaram tais produtos, nas diferentes formas, chegou a 95 em 2016, com destaque para a União Europeia como principal destino das frutas nacionais. Os europeus importaram cerca de 623,516 mil toneladas, resultando em aproximadamente US\$ 572,956 milhões em 2016. A fruta mais embarcada para a Europa em valor foi o melão, com US\$ 143,509 milhões, seguida da manga (US\$ 137,794 milhões) e do limão (US\$ 81,919 milhões) (ANUÁRIO, 2017 e 2022).

O melão (*Cucumis melo L.*) é muito apreciado e de popularidade crescente no Brasil e no mundo, sendo consumido em larga escala na Europa, Japão e Estados Unidos, é rico em vitaminas A, B, B2, B5 e C, sais minerais como potássio, sódio e fósforo, apresenta valor energético relativamente baixo e pode ser consumido in natura ou na forma de suco (SENAR, 2007). (ANUÁRIO, 2017 e 2022). No Brasil, a produção da fruta destaca-se nos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. Embora as condições climáticas ideais encontrem-se no Nordeste, pode-se também produzir melão em qualquer parte do país (SENAR, 2010; SILVA, et.al 2022).

Segundo o Anuário (2022), de acordo com as últimas safras, a cadeia produtiva estima uma ampliação de cerca de 10% ao ano. Isso representa em torno de 2 mil novos hectares anuais. Atualmente, de acordo com os dados da Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (Abrasfrutas), o plantio nacional da fruta é de 20 mil hectares, perfazendo produção de 500 mil toneladas ao ano. Mudar

Apesar da importância, o comércio das frutas e hortaliças apresenta dificuldades, tais como, a fácil deterioração, devido, principalmente, à quantidade de água livre, o que afeta diretamente a conservação e o uso prolongado da fruta, a alta perda pós-colheita, advinda das etapas por onde o produto percorre, tais como, no manuseio inadequado durante o cultivo, na hora da colheita, durante o transporte, na

comercialização ou até mesmo no destino final, resultando em números que podem inviabilizar a produção e exportação de alguns produtos.

Dias (2003) estima que no Brasil o desperdício de alimentos oscile entre 80 e 40%. Deste total, 10% ocorrem durante a colheita, 50%, no manuseio e transporte dos alimentos, 30%, nas centrais de abastecimento e os últimos 10% ficam diluídos entre supermercados e consumidores (SANTOS, et. al, 2020). O Brasil apresenta uma vasta diversidade frutífera e um valor de perda bastante significativo, faz-se necessária a busca de processos que prolonguem o tempo de vida útil destes produtos, surgindo como um dos desafios neste segmento de mercado melhorar a eficiência do comércio de frutas e hortaliças (ARAÚJO, 2005).

A conservação de alimentos vem ganhando um destaque especial nas últimas décadas, principalmente utilizando o processo convencional de secagem. Entretanto, a técnica combinada de desidratação osmótica e secagem vêm sendo bastante utilizada, pois segundo diversos pesquisadores essa combinação confere ao produto final uma série de benefícios, quando comparada ao processo convencional de secagem isolado (ARAÚJO, 2005; ARAGÃO, 2017; FERREIRA et. al 2020). A desidratação osmótica consiste basicamente na remoção do conteúdo de água do produto com um aumento simultâneo de sólidos por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do alimento em uma solução hipertônica, agente desidratante, por um certo tempo e temperatura específicos (RAOULT-WACK, 1994).

A preservação de alimentos pela remoção de água permite a redução do crescimento microbiano e previne o desenvolvimento da maioria das reações bioquímicas que ocorrem na presença de umidade. Assim, a secagem constitui-se num processo altamente viável de se evitar desperdícios, no caso de excesso de produção (QUEIROZ, 1994). Dentre as vantagens deste processo, encontram-se: a redução do peso da fruta ou hortaliça de 50 a 80%, o que acarreta melhor conservação do produto e menor custo de armazenamento e transporte, produtos de alta qualidade, usados para exportação como as tâmaras e uva-passa, que possuem um alto valor agregado, eficiência no processo de conservação, aumentando a renda para o produtor, além de disponibilizar alimentos de boa qualidade, preservando ao máximo os componentes nutricionais e propriedades organolépticas, redução de perdas principalmente no pico da safra, quando as frutas alcançam menores preços pelo excesso de oferta (GOMES et., al 2007, PINTO et., al 2023).

Considerando todos os fatores citados, a desidratação osmótica surge como uma alternativa para o aproveitamento do excesso de produção, barata, acessível e eficiente, que possibilita a redução das perdas pós-colheita e o aumento do valor agregado final para as frutas e verduras produzidas nas propriedades. Além de possibilitar o consumo do produto nos períodos de entressafra, tornando possível obter produtos de alta qualidade e de alto valor agregado, valorizando a produção da agricultura familiar (GOMES et., al 2007).

Portanto, a produção de melão desidratado osmoticamente em solução de sacarose e/ou sorbitol, além de ser uma alternativa de conservação, pode vir a se tornar uma tecnologia alternativa de processamento, de forma a obter-se um produto diferenciado, com o uso de açúcar de baixa caloria (sorbitol) como opção para diabéticos e demais consumidores (LIMA, 2012).

2. Metodologia

Para a realização dos experimentos, foi utilizado o melão (*Cucumis melo L.*) do tipo japonês, inicialmente o teor de sólidos solúveis de 4,2 °Brix. O melão foi descascado, partido ao meio e retirado as sementes, com ajuda de uma matriz de alumínio com dimensões definidas, foi cortado em partes semelhantes, de dimensões 1,5x1,5x0,5cm. As amostras foram secas com papel toalha, pesadas e transferidas para béqueres.

As soluções desidratantes foram preparadas com água destilada nas concentrações de 30, 40 e 50 °Brix (massa de soluto/massa de solução). A desidratação osmótica foi realizada a temperatura ambiente (28 °C), nos tempos de imersão de 10, 20 e 30 minutos, totalizando 7 experimentos para cada tipo de solução osmótica: sacarose e sorbitol, conforme apresentado na Tabela (1).

Tabela 1 – Planejamento experimental utilizado para as soluções osmóticas sem e com o efeito do banho ultrassom.

Tratamento	Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min)
1	30	10
2	50	10
3	30	30
4	50	30

5	40	20
6	40	20
7	40	20

Fonte: O autor.

O preparo das soluções osmóticas de sacarose e sorbitol foram pesados em balança semi-analítica, em béqueres de 1000 mL, adicionando-se água destilada para obtenção da concentração desejada na solução. Os béqueres foram agitados com o auxílio de um bastão para facilitar a dissolução do soluto. Com uma proveta graduada, foram transferidos 60 mL de cada solução para os béqueres que contêm as amostras selecionadas, sem e com a aplicação do banho ultrassônico de frequência de 20 kHz (UNIQUE, modelo 1650), na temperatura ambiente, onde passarão pelo tempo estabelecido mediante o planejamento experimental de acordo com as Tabela 1. Ao final de cada processo as amostras foram lavadas e a água residual superficial foi removida e as amostras seguiram para a secagem convectiva e outas para análise.

Após a desidratação osmótica, as amostras foram lavadas com água destilada e retirado o excesso da água residual superficial, e em seguida pesadas em vidros de relógio, onde foram colocadas em uma estufa de circulação de ar com temperatura previamente estabelecida constante de 70 °C. Os vidros eram retirados e pesados em intervalos de tempo regulares, com ajuda de uma forma de alumínio, até obter o peso constante. O produto final obtido foi retirado dos recipientes com auxílio de espátulas, sendo acondicionados em sacos de polietileno e fechados para realização de análises posteriores.

O teor de SST, expresso em °Brix, das amostras *in natura* e após a desidratação osmótica foram obtidas através do método proposto pela AOAC (1990), por meio de um refratômetro (NOVA WYA, ABBE digital de bancada). O aparelho foi calibrado com água destilada. Em seguida, uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma, obtendo-se a leitura direta no índice refratométrico indicado pelo aparelho.

Cerca de 3g das amostras de frutas *in natura* e desidratadas foram trituradas e diluídas em 10ml de água destilada, onde o pH da suspensão foi determinado diretamente em um pHmetro digital portátil da marca AKSO.

Foi utilizado o método gravimétrico para a determinação da umidade do melão *in natura*. Inicialmente pesou-se cerca de 1g do melão em três cadinhos de porcelana e os mesmos foram levados à estufa na temperatura de 105 °C por 24 horas. Em seguida, os cadinhos foram pesados, conhecendo-se assim a massa de sólido seco, utilizada para

calcular o teor de umidade em base seca, através da Equação (1) nos experimentos de cinética de secagem.

$$X_{(b.s)} = \frac{(m_i - m_f)}{m_{ss}} \quad (1)$$

Sendo: $X_{(b.s)}$ = teor de umidade em base seca, m_i = massa inicial do material, m_f = massa final do material e m_{ss} = massa de sólido seco do material.

A medição da atividade de água das amostras foi feita em triplicata, utilizando um medidor de atividade de água *Novasina LabMaster AW*, com precisão de +/- 0,003 à temperatura de 25 °C.

Para a utilização do modelo difusional considerou-se a geometria das amostras de melão como uma placa plana infinita e utilizou-se modelo difusional de Fick para obtenção dos valores de difusividade efetiva estimada.

O coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}) em (cm²/min.), os valores do parâmetro do modelo difusional de uma placa ($\frac{8}{\pi^2} = 0,8106$), que foi substituído por um parâmetro ajustável A, e os coeficientes de correlação (R^2) foram determinados por regressão não-linear utilizando o modelo de Fick com quatro termos da série e a razão de umidade $Y = [(X - X_e)/(X_o - X_e)]$ obtida experimentalmente na Equação (2), não levando em consideração o encolhimento durante a secagem convectiva, conforme a metodologia utilizada por (SILVA, 2004).

$$\frac{X - X_e}{X_o - X_e} = - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

Legenda:

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As caracterizações dos melões *in natura* utilizados nos ensaios encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2- Propriedade do melão *in natura*

Variável	Média	Desvio Padrão
pH	6,13	0,02
SST (°Brix)	4,20	0,06
Teor de água (%)	95,80	0,03

Fonte: Autor.

No estudo de melões do tipo Amarelo Valenciano, Lima (2012) realizou testes com frutas com teor de sólidos solúveis de 12 °Brix e teor de água de aproximadamente 90%.

A Tabela 3 mostra o teor de sólidos solúveis totais (SST) após a desidratação osmótica das soluções de sacarose e sorbitol nas concentrações de (30, 40 e 50° Brix), tempo de imersão (10, 20 e 30 min), com e sem ultrassom, de acordo com o planejamento experimental fatorial completo 2² + 3 pontos centrais. A concentração do melão *in natura* foi de 4,2 °Brix, sendo a concentração inicial de todos os processos.

Tabela 3 – Sólidos solúveis totais para as soluções de sacarose e sorbitol com e sem ultrassom.

Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min)	DO Sac/ Sem ultrassom (°Brix)	DO Sor/ Sem ultrassom (°Brix)	DOU Sac/ Com ultrassom (°Brix)	DOU Sor/ Com ultrassom (°Brix)
30	10	5,9	7,2	6,8	8,2
50	10	7,4	8,7	8,1	9,6
30	30	7,4	10,4	9,1	11,3
50	30	9,7	14,4	13,1	13,6
40	20	8,1	10,1	9,9	11,0
40	20	7,9	10,1	9,9	11,1
40	20	8,0	9,8	10,0	11,0

Nota. DO Sac=Teor de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica com sacarose, DOU Sac=Teor de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica com sacarose e ultrassom, DO Sor=Teor de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica com sorbitol, DOU Sor=Teor de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica com sorbitol e ultrassom.

Fonte: o autor.

A partir da Tabela 3, observa-se que os teores de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica tanto para a solução de sacarose como a de sorbitol com e sem o efeito do ultrassom aumentaram, em comparação a amostra *in natura*. Nota-se que para a desidratação osmótica de sacarose e sorbitol assistida por ultrassom foi observado um maior teor de sólidos solúveis totais para a desidratação osmótica de sorbitol do que soluções de sacarose, este fato também foi observado nas soluções de sacarose e sorbitol sem ultrassom, esse efeito pode estar associado ao tamanho do soluto do sorbitol, que

possui baixa massa molecular em comparação a solução de sacarose, que possui maior massa molecular, fato observado por (Raoult-Wack, 1994) e também por (Justus, 2012) que observou que na desidratação osmótica com água mineral e três agentes osmóticos distintos (sacarose, cloreto de sódio e maltodextrina) o baixo peso molecular com o cloreto de sódio favoreceu seu incremento no interior do fruto com relação à sacarose, de alto peso molecular, e também a possível mudança ocasionada na estrutura da fruta durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. Nota-se também que para as duas soluções quanto mais concentradas a solução (maior °Brix), maior o teor de sólidos solúveis totais do produto submetido a desidratação osmótica.

Pode-se observar que com relação aos sólidos solúveis totais, na Tabela 3, que quando as concentrações das soluções aumentam e também os tempos de imersão com e sem o efeito do ultrassom ocorreu um aumento do ganho de sólidos.

Os valores obtidos no presente trabalho são semelhantes àqueles obtidos por SOUZA Neto et al. (2005), que, em trabalho de desidratação osmótica de manga, verificaram que o aumento da concentração da solução desidratante promoveu aumento no teor de sólidos solúveis e que esse aumento foi diretamente proporcional a duração do processo. Entretanto, os autores ressaltaram que soluções com concentrações maiores que 75 °Brix tornam-se inapropriadas ao processamento devido aos limites de solubilidade do agente utilizado, formação de filme, dificultando o preparo da solução, além da alta viscosidade, o que dificulta a sua manipulação. Outro fato que também pode relacionar este ganho de sólidos durante o tratamento osmótico de pouco tempo de imersão (10, 20 e 30 min) foi o banho com ultrassom, em estudos recentes utilizando o pré-tratamento com a ultrassom antes da desidratação osmótica de fatias de kiwi foi observado que o processo de ultrassom rompeu as células densas que levaram a uma separação distinta das células, resultando em modificações das estruturas com formação de microcanais que potencializam a remoção de umidade e impregnação de sólidos (Prithani & Dash, 2020).

A Tabela 10 mostra as atividades de água após a secagem convectiva das amostras submetida a desidratação osmótica em solução de sacarose e sorbitol com e sem o efeito da ultrassom.

Tabela 10 – Atividade de água após a secagem convectiva das amostras submetida a desidratação osmótica.

Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min)	Aw DO sac	Aw DO sor	Aw DOU sac	Aw DOU sor
30	10	0,209	0,232	0,293	0,284
50	10	0,399	0,242	0,273	0,211
30	30	0,267	0,241	0,238	0,233
50	30	0,257	0,207	0,300	0,238
40	20	0,300	0,296	0,293	0,284
40	20	0,356	0,318	0,238	0,211
40	20	0,456	0,399	0,300	0,203

Nota. DO Sac= Desidratação osmótica com sacarose, DOU Sac=Desidratação osmótica com sacarose e ultrassom, DO Sor= Desidratação osmótica com sorbitol, DOU Sor=Desidratação osmótica com sorbitol e ultrassom.

Fonte: o autor.

Todas as amostras apresentaram valores de atividade de água iguais ou abaixo de 0,3, sendo bastante favorável à estabilidade dos alimentos. Segundo Labuza (1980), alimentos com atividade de água inferiores a 0,6 são considerados micro biologicamente estáveis. Borin et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes na desidratação seguida de secagem convectiva da abóbora.

Portanto, observa-se que o valor da atividade de água do melão foi afetado pelas concentrações das soluções das soluções e tempo de imersão do melão, onde os melhores valores foram obtidos nas soluções de sorbitol.

Os coeficientes de difusão efetivos dos melões desidratados em soluções de sacarose e sorbitol com e sem o efeito do ultrassom foram determinados a partir da Equação (2), correspondente ao modelo difusional de Fick, sem efeito do encolhimento. Observou-se que os quatro primeiros termos da série foram necessários para obter o coeficiente de difusão, onde o valor de $(8/\pi^2)$ corresponde à geometria plana da Equação (2) e foi determinado através do modelo.

A Tabela (12) mostra os valores do coeficiente de difusão (Def), parâmetro (A) e correlação (R^2) obtidos. Observa-se, através da Tabela 12, que o valor médio obtido para o parâmetro A é de 0,948, nas tentativas com os números de termo da série, verificou-se que o valor de A aproxima-se de $(8/\pi^2=0,8121)$, apresentando uma diferença entre o valor

teórico e experimental de 13,87%. Além disso, os experimentos apresentaram bons ajustes, com coeficientes de correlação acima de 0,930.

Resultado semelhantes foram encontrados por Silva (2004) na desidratação osmótica da acerola utilizando o modelo difusional da esfera onde o valor médio foi de $A= 0,66$ com diferenças entre o valor teórico e experimental de 8,63%. Logo, o desvio encontrado é aceitável.

Tabela 12- Valores dos coeficientes de difusão efetivo D_{ef} , parâmetro A e coeficiente de correlação R^2 , para o modelo difusional com quatro termos.

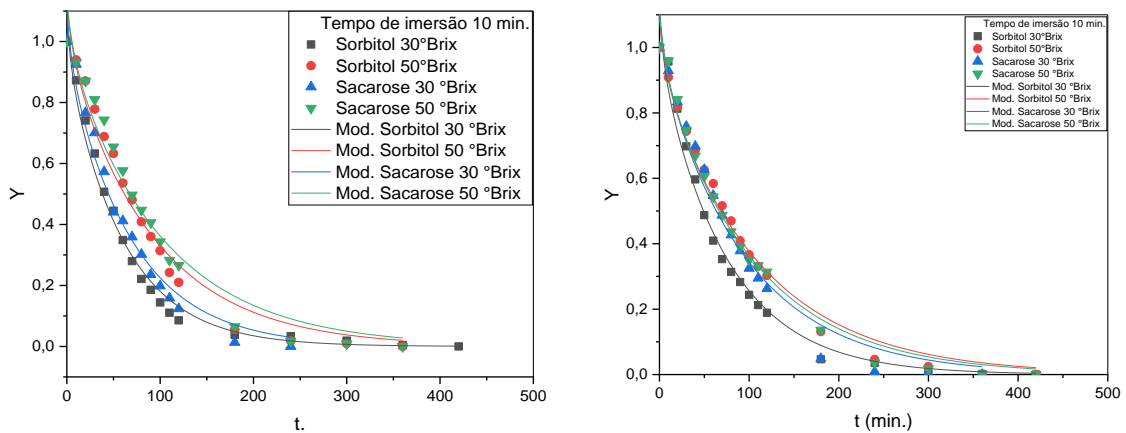
Conc. (°Brix)	Tempo (min)	Desidratação osmótica sem ultrassom (DO)						Desidratação osmótica com ultrassom (DOU)					
		Sac	Sor	Sac	Sor	Sac	Sor	Sac	Sor	Sac	Sor	Sac	Sor
		$A = 8/\pi^2$		$D_{ef}(cm^2/s)$		R^2		$A = 8/\pi^2$		$D_{ef}(cm^2/s)$		R^2	
30	10	0,95180	0,93640	0,00146	0,00167	0,97100	0,98200	0,95640	0,95460	0,00104	0,00134	0,97350	0,98120
50	10	0,97490	0,97450	0,00100	0,00110	0,96290	0,96670	0,94330	0,92890	0,00097	0,00092	0,98580	0,98640
30	30	0,92960	0,93410	0,00125	0,00125	0,97910	0,98010	0,96250	0,95460	0,00134	0,00103	0,97740	0,98120
50	30	0,94820	0,94380	0,00078	0,00088	0,97270	0,98360	0,95920	0,93900	0,00127	0,00094	0,98330	0,97950
40	20	0,95210	0,95730	0,00109	0,00123	0,97866	0,95250	0,93500	0,93540	0,00096	0,00129	0,98340	0,98660
40	20	0,93190	0,93160	0,00085	0,00106	0,97805	0,98107	0,98470	0,94150	0,00110	0,00160	0,96150	0,98300
40	20	0,94510	0,93250	0,00100	0,00093	0,97797	0,98009	0,96100	0,94040	0,00129	0,00099	0,97610	0,97930

Fonte: o autor (2018)

Os ajustes do modelo difusional de Fick com 4 termos da série aos dados experimentais da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e sorbitol de 30 e 50° Brix e tempo de imersão de 10 minutos, estão apresentados nas Figuras 15 (a) e (b).

(Os parâmetros A , Def e R^2 estão apresentados na Tabela 12., ONDE COLOCAR)

Figura 15- Modelo difusional da desidratação osmótica do melão sem e com o efeito da ultrassom submetidos às concentrações de 30 e 50 °Brix no tempo de imersão de 10 minutos.



(a) Sem o efeito da ultrassom

(b) Com o efeito da ultrassom

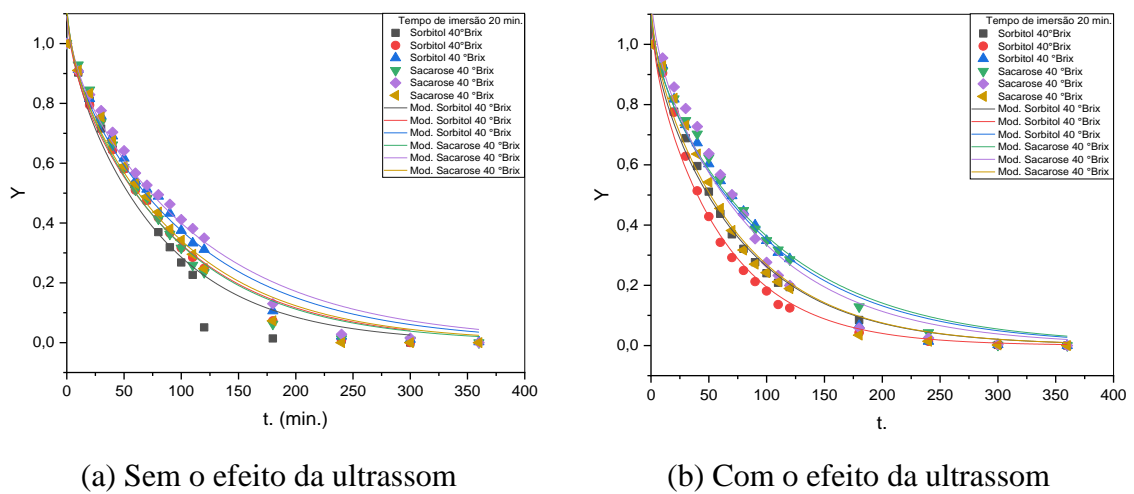
O valor teórico do parâmetro A da equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 12, para o parâmetro A é 19% e 18% para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente, para sem o efeito do ultrassom. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 17% e 16% para a sacarose e sorbitol, respectivamente. Os autores Baroni e Hubinger, 1996, em seus estudos encontraram valores dos desvios de 13,6%, para a desidratação osmótica da cebola, considerando uma placa plana. Desse modo, o desvio encontrado no trabalho é aceitável, considerando o não encolhimento durante a secagem convectiva.

Analisando os coeficientes de difusão, para o tempo de 10 minutos, das amostras submetidas ao tratamento osmótico sem o efeito do ultrassom, a partir da Tabela 12, pode-se observar que com a concentração de 30° Brix os valores para o sorbitol e sacarose são 0,00167 e 0,00146, respectivamente, correspondendo maiores do que para a concentração de 50° Brix. Do mesmo modo, acontece com o efeito do ultrassom com a concentração de 30° Brix os valores para o sorbitol e sacarose são 0,00134 e 0,00104, respectivamente.

Importante observar que sem o efeito do ultrassom com a concentração de 30° Brix o valor para o sorbitol é maior, devido a provável formação de filme para as variáveis analisadas.

Com os dados experimentais, Tabela 12, da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e sorbitol de 30 e 50° Brix e tempo de imersão de 10 minutos, geraram ajustes no modelo difusional de Fick com 4 termos da série estão expostos na Figura 16 (a) e (b).

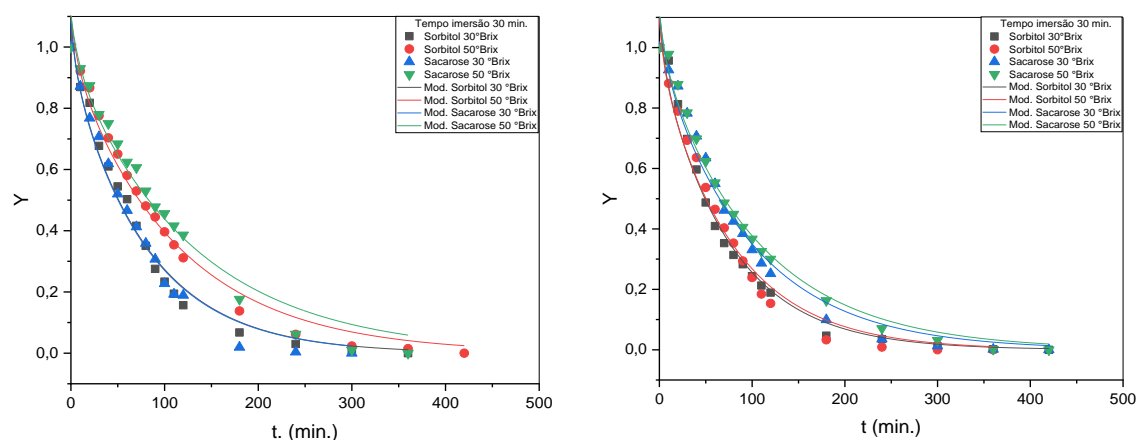
Figura 16- Modelo difusional da desidratação osmótica do melão submetidos às concentrações de 40 °Brix no tempo de imersão de 20 minutos.



O valor teórico do parâmetro A da equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 12, para o parâmetro A é 0,17 e 0,15 para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente, para sem o efeito do ultrassom. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 0,19 e 0,16 para a sacarose e sorbitol, respectivamente. O resultados estão de acordo com a literatura (BARONI E HUBINGER, 1996).

Na Figura 17 (a) e (b), é possível observar modelo difusional de Fick com 4 termos da série aos dados experimentais da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e sorbitol de 30 e 50° Brix e tempo de imersão de 10 minutos.

Figura 17- Modelo difusional da desidração osmótica do melão submetidos às concentrações de 30 e 50 °Brix no tempo de imersão de 30 minutos.



(a) Sem o efeito da ultrassom

(b) Com o efeito da ultrassom

O valor teórico do parâmetro A da equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 12, para o parâmetro A é 0,16 e 0,16 para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente, para sem o efeito do ultrassom. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 0,19 e 0,17 para a sacarose e sorbitol, respectivamente. Os autores Baroni e Hubinger, 1996, em seus estudos encontraram valores dos desvios de 13,6%, para a desidração osmótica da cebola, considerando uma placa plana. Desse modo, o desvio encontrado no trabalho é aceitável, considerando o não encolhimento durante a secagem convectiva. Os valores encontrados na literatura estão em concordância com a literatura (BARONI E HUBINGER, 1996).

Comparando os coeficientes de difusão das amostras submetidas ao tratamento osmótico em soluções de sacarose sem o efeito do ultrassom com as soluções de sacarose com efeito do ultrassom, pode-se observar que as amostras sem o efeito do ultrassom apresentaram maior coeficiente de difusão. Este efeito também foi observado para as amostras submetidas ao tratamento osmótico com sorbitol. Com exceção para a condição de (50° Brix e 30 minutos), onde podemos notar maiores coeficientes de difusão para os tratamentos em solução de sacarose e sorbitol com o efeito do ultrassom em comparação as amostras sem o efeito do ultrassom. Isto pode está diretamente ligado as maiores concentrações que podem ocasionar à formação de um filme na superfície das amostras dificultado a difusividade e que pode ser eliminada com o efeito do ultrassom. Segundo Fernandes, Linhares e Rodrigues (2008), esse comportamento se deve ao fato da alta resistência da difusão da água causada pela alta concentração de açúcar incorporado pelo

fruto, formando uma barreira, dificultando o fluxo da água do produto para a solução durante o pré-tratamento. Os mesmos autores observaram uma diminuição da difusividade no abacaxi quando utilizaram uma solução osmótica de 70 °Brix após 30 minutos de tratamento em banho ultrassônico, quando comparado com os resultados obtidos com a solução de 35 °Brix, no mesmo tempo de tratamento. Podendo-se comprovar que quanto menor incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica pode possibilitar maior coeficiente de difusão efetiva e quanto maior a incorporação de sólidos menor o coeficiente de difusividade efetiva.

Constata-se, na Tabela 12, que maiores valores dos coeficientes de difusividades foram encontrados para as soluções osmóticas de sorbitol e sacarose (30 °Brix, 30 minutos) sem o efeito do ultrassom, os coeficientes de difusão encontrados foram de **0,00125** e **0,00125** cm²/s, respectivamente. Este fato pode estar associado a menor concentração da solução osmótica, pois em soluções mais concentradas pode ocasionar a formação de um filme na superfície das amostras dificultado a difusividade.

Comparando isoladamente o coeficiente de difusão dos tratamentos em solução osmótica de sacarose e sorbitol nas condições menores de (30° Brix e 10 minutos) sem e com o efeito do ultrassom, praticamente os coeficientes de difusão permaneceram da mesma ordem, respectivamente. Nesta mesma condição, para as duas soluções foram observadas um maior coeficiente de difusão em comparação as amostras desidratadas com efeito do ultrassom. No geral, pode-se observar que as amostras tratadas com solução de sacarose sem o efeito do ultrassom apresentaram maiores coeficientes de difusão em comparação às outras amostras de sorbitol sem ultrassom. Para as amostras tratadas com o sorbitol nas concentrações de (30, 40 e 50 °Brix) e tempos de imersão (20 e 30 minutos) sobre o efeito do ultrassom foi observado um maior coeficiente de difusão, a ultrassom pode ter ocasionado modificações na estrutura das amostras facilitando a difusão. Segundo, Fernandes, Galão & Rodrigues (2008), em seus estudos observaram que o efeito do ultrassom apresentaram canais microscópicos na estrutura celular e podem ser responsável pelo aumento na difusividade da água. Em estudos recentes de Bozkir et al. (2019) estudaram que a aplicação de desidratação osmótica (30 ° C, 45 ° Brix) do caqui assistida por ultrassom foi realizada a 35 kHz por 10, 20 e 30 minutos antes da secagem com ar quente aumentou a taxa de secagem e a difusividade efetiva da água. E também em estudos de (Li et al., 2021) para a ameixa Sanhua tratada com desidratação osmótica de sacarose assistida por ultrassom apresentou tempo de secagem reduzido e difusividade efetiva de água aumentada

Na Tabela 12 foi possível observar que maiores valores dos coeficientes de difusividades foram encontrados para as soluções osmóticas de sorbitol e sacarose (30 °Brix, 30 minutos) sem o efeito do ultrassom, os coeficientes de difusão encontrados foram de **0,131x10⁻¹** e **0,150x10⁻¹** cm²/s, respectivamente. Este fato pode estar associado a menor concentração da solução osmótica, pois em soluções mais concentradas pode ocasionar a formação de um filme na superfície das amostras dificultando a difusividade.

Comparando isoladamente o coeficiente de difusão dos tratamentos em solução osmótica de sacarose e sorbitol nas condições menores de (30° Brix e 10 minutos) sem e com o efeito do ultrassom, praticamente os coeficientes de difusão permaneceram da mesma ordem, respectivamente. Nesta mesma condição, para as duas soluções foram observadas um maior coeficiente de difusão em comparação as amostras desidratadas com efeito do ultrassom. No geral, pode-se observar que as amostras tratadas com solução de sacarose sem o efeito do ultrassom apresentaram maiores coeficientes de difusão em comparação às outras amostras de sorbitol sem ultrassom. Para as amostras tratadas com o sorbitol nas concentrações de (30, 40 e 50 °Brix) e tempos de imersão (20 e 30 minutos) sobre o efeito do ultrassom foi observado um maior coeficiente de difusão, a ultrassom pode ter ocasionado modificações na estrutura das amostras facilitando a difusão. Segundo (Fernandes, Galão & Rodrigues, 2008) em seus estudos observaram que o efeito do ultrassom apresentaram canais microscópicos na estrutura celular e podem ser responsável pelo aumento na difusividade da água. Em estudos recentes de (Bozkir et al., 2019) estudaram que a aplicação de desidratação osmótica (30 ° C, 45 ° Brix) do caqui assistida por ultrassom foi realizada a 35 kHz por 10, 20 e 30 minutos antes da secagem com ar quente aumentou a taxa de secagem e a difusividade efetiva da água. E também em estudos de (Li et al., 2021) para a ameixa Sanhua tratada com desidratação osmótica de sacarose assistida por ultrassom apresentou tempo de secagem reduzido e difusividade efetiva de água aumentada.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado a desidratação osmótica do melão, como pré-tratamento de secagem, seguido de secagem convectiva forçada. Verificou-se que a variável concentração da solução foi a que exerceu maior influência sobre a perda de umidade das amostras, seguida pelo tempo de imersão nas soluções. Aos 10 minutos de imersão, as curvas da cinética de secagem tiveram um comportamento semelhante, optando pelo melão

pré-tratado em solução de sacarose (30°Brix), por se tratar da solução de melhor custo-benefício. As melhores soluções foram as de sorbitol 40 e 30 °Brix para as curvas de 20 e 30 minutos de imersão, respectivamente.

O ganho de sólidos foi maior nas amostras imersas em soluções de sorbitol do que de sacarose, principalmente na solução de 50 °Brix imersa por 30 minutos, concluindo que quanto mais concentrada a solução, maior o ganho de sólidos do produto e, conseqüentemente, menor o teor de umidade da fruta.

Foi possível observar, na modelagem aplicada à secagem convectiva do melão, que os maiores valores de difusividades foram encontrados com os experimentos realizados na desidratação osmótica em solução de sorbitol quando comparados aos resultados realizados em solução de sacarose, sendo o maior valor na solução de 30 °Brix por 30 minutos ($1,2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$). As menores difusividades das soluções mais concentradas de sacarose e sorbitol (50 °Brix), sob mesmo tempo, foram explicadas pela barreira formada pela alta resistência da difusão da água causada pela alta concentração de açúcar incorporado pelo fruto. O modelo difusional de Fick ajustou-se de forma efetiva aos pontos experimentais, obtendo índice de correlação entre 0,95 e 0,98.

Por fim, pode-se observar a partir dos dados apresentados, que o uso do tratamento osmótico foi eficaz na retirada de água, devido à diferença de pressão osmótica gerada entre o fruto e a solução, levando a uma diminuição na taxa de umidade da amostra.

7 REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA (2017). Editora Gazeta – Anuários Brasileiros de Agronegócio, www.anuarios.com.br, acessado em 30/03/2018.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2015. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2015. 108p.

ARAGÃO, P. P.; LOSS, R. A.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F. Avaliação do potencial da utilização de pré-tratamento osmótico na produção de manga desidratada, 2017.

ARAUJO, L. C. Otimização da desidratação osmótica de jambo-vermelho (*Syrzygium malaccense*). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 165p, 2009.

BORIN, I; FRASCARELI, E. C; MAURO, M. A; KIMURA, M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva da abóbora. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 39-50, 2008.

BOZKIR, H, ERGÜN, A. R, SERDAR. E., METIN, G., BAYSAL, T., Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 54, 2019, Pages 135-141, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>.

DIAS, M.C. Comida jogada fora. *Correio Braziliense*, 31 de Agosto de 2003. Disponível em: <http://www.consciencia.net/2003/09/06/comida.html>. Acesso em maio de 2018.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, I. M.; RODRIGUES, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT* 41 604–610.

FERNANDES, F. A. N; LINHARES, F. E; RODRIGUES, S. Ultrasound as pretreatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*. v. 15, p. 1049-1054, 2008.

FERREIRA, J. P. L., DEISE S. DE CASTRO, D. S., MOREIRA, I. S., SILVA, W. P., FIGUEIRÊDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., R. Convective drying kinetics of osmotically pretreated papaya cubes *Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.24, n.3, p.200-208, 2020

GOMES, P. M. Cultivo de Melão: Manejo, Colheita, Pós-colheita e Comercialização. Brasília: SENAR, 2007.

Justus, A., Influência da aplicação de ondas de ultrassom na desidratação osmótica de tomate (*Lycopersicon lycopersicum*) cv. Carmen. Lavras-MG. Dissertação em Ciências dos alimentos. (2012).

LABUZA, T.P. The Effect of Water Activity on Kinetics of Food Deterioration. *Food Technology*. Chicago, v.39, n.4, p.36-41, 1980.

LI, L., YU, Y.; XU, Y.; WU, J.; YU, Y.; PENG, J.; AN, K.; ZOU, B.; YANG, W., Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.), *LWT*, Volume 138, 2021.

LIMA, J. P. R.; MIRANDA, E. A. Fruticultura Irrigada no Vale do São Francisco: Incorporação Tecnológica, Competitividade e Sustentabilidade. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 32, n. especial, p. 611-632, 2001.

PINTO, B. S., MELO, A. C. C., COSTA JUNIOR, E. F., COSTA, A. O. S., Novel technologies combined with osmotic dehydration for application in the conservation of fruits: an overview *Novas tecnologias combinadas com desidratação osmótica para aplicação na conservação de frutas: uma revisão*, *Ciência Rural*, Santa Maria, v.53:7, 2023.

PRITHANIA, R., DASH, K. K., Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 64, agosto de 2020.

QUEIROS, M.R. Estudo Teórico Experimental da Cinética de Secagem de Bananas. (1994). 176p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-São Paulo.

RAOULT-WACK, A. L. (1994) Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science & Technology, v.5, p. 225-260.

SANTOS, K. L., PANIZZON, J., CENCI, M. M., GRABOWSKI, G., JAHNO, V. D., Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro Food losses and waste: reflections on the current brazilian scenario, Braz. J. Food Technol., Campinas, v. 23, e2019134, 2020 |

SILVA, R. S., XAVIER, L. M. S., BATISTA, A. R. F., SILVA, M. G., SILVA, D. G., BRITO, L. A., MELLO, D. R., ALMEIDA, R. S. A., Diagnóstico bioclimático para produção de melão no município de Patos –PB, Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.8, p.59140-59146, aug. 2022.